



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

## INDIKÁTOR PRO PIPETOVÁNÍ

PIPETTING INDICATOR

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Demjan

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Škarvada, Ph.D.

BRNO 2017

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

**Student:** Michal Demjan

**ID:** 174487

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2016/17

**NÁZEV TÉMATU:**

## Indikátor pro pipetování

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s problematikou jednočipových mikrokontrolérů, jejich parametry a programováním. 2) Prostudujte možnosti indikace použití jednotlivých elementů jamkových destiček a možnosti snímání pozice pipety, případně způsoby vazby na práci uživatele. 3) Navrhněte schéma zapojení a desku tištěného spoje řídicí elektroniky pro systém zobrazování a registraci akcí uživatele při pipetování. Navržený embedded systém musí mít konektivitu k nadřazenému zařízení např. PC. 4) Definujte komunikační protokol s nadřazeným systémem. 5) Proveďte hardwarovou realizaci indikátoru včetně vytvoření firmware indikátoru a ovládacího software pro nadřazené zařízení. 6) Proveďte vyhodnocení navrženého řešení, posuďte funkčnost vytvořeného zařízení a diskutujte dosažené výsledky.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MATOUŠEK, David. Práce s mikrokontroléry Atmel AVR. BEN-Technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-2-9-4.

[2] LÁNÍČEK, Robert. Elektronika, obvody, součástky, děje. BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-86056--5-2.

[3] SETNÍČKA, Václav. Obecné základy práce v analytické laboratoři, aktualizace textu Návodů pro laboratorní cvičení z analytické chemie I, VŠCHT Praha, 2000.

**Termín zadání:** 6.2.2017

**Termín odevzdání:** 2.6.2017

**Vedoucí práce:** Ing. Pavel Škarvada, Ph.D.

**Konzultant:** doc. Ing. Jana Kolářová, Ph.D.

**prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.**  
*předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Práca „Indikátor pro pipetování“ sa zaoberá možnosťami indikovania postupu práce pri pracovaní s mikroskúmavkovými doskami s 96 a 48 mikroskúmavkami. Práca berie ohľad na finančnú nenáročnosť zhotoveného produktu, rovnako ako aj na univerzalitu pre použitie mikroskúmavkových dosiek, určených na rôzne účely a pracoviská, dodávanými rôznymi firmami. Práca popisuje návrh ako hardwaru, tak aj softwaru a krytu zariadenia. Zariadenie využíva 96 LED diód, ovládané mikrokontrolérom, je schopné bezdrôtovej komunikácie s nadradeným systémom.

## **Kľúčové slová**

Pipetovanie, Arduino, Genuino, Mikrokontrolér, LED matica, Matlab

## **Abstract**

Thesis “LED pipetting indicator” considers possibilities of indication of working process using microplates with 96 and 48 wells. It is also considering low financial costs of the final product, same as universality for using microplates intended for different uses and researches and also for using microplates made by different manufacturers. This work follows designing of hardware, software and casing. Device is using 96 LED diodes, controlled by microcontroller which is able to communicate with system of higher level.

## **Keywords**

Pipetting, Arduino, Genuino, Microcontroller, LED matrix, Matlab

DEMJAN, M. Indikátor pro pipetování. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 40s. Vedúci bakalárskej práce Ing. Pavel Škarvada, Ph.D..

## Prehlásenie

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému Indikátor pro pipetování som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tohto projektu som neporušil autorské práva tretích osôb a hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobností a som si plno vedomí následkov porušenia ustanovení § 11 ako aj autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení § 152 trestného zákona č. 140/1961 Sb.

V Brne dňa 20.5.2016

.....

podpis autora

## **Pod'akovanie**

Pod'akovanie patrí vedúcemu bakalárskej práce Ing. Pavel Škarvada, Ph.D. za ochotu a čas venované metodickéj a odbornej pomoci.

Takisto chcem poďakovať pánovi MUDr. Michalovi Jurajdovi Ph.D. za cenné rady, ktoré viedli k zdokonaleniu práce.

V Brne dňa 20.5.2016

.....

podpis autora

# Obsah

<b>Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>1 Špecifikácia požiadavkou na výsledné zariadenie.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Teoretická časť .....</b>	<b>12</b>
2.1 Možnosti vyhotovenia zariadenia .....	12
2.2 Riadenie elektroniky .....	13
2.2.1 Impulzová šírková modulácia .....	13
2.2.2 LED dióda .....	14
2.2.3 AVR mikrokontrolér .....	15
2.2.4 Sériová linka a Bluetooth.....	15
2.3 Programovanie v Arduino IDE .....	16
<b>3 Praktická časť .....</b>	<b>18</b>
3.1 Návrh a popis riešenia .....	18
3.1.1 Návrh elektrického obvodu.....	18
3.1.2 Zhotovené stojany a obal zariadenia .....	24
3.1.3 Popis riadiaceho softwaru .....	25
3.1.4 Bluetooth sériová komunikácia.....	27
3.1.5 Užívateľské rozhranie nadriadeného systému .....	29
3.2 Vyhotovenie zariadenia .....	30
<b>Záver.....</b>	<b>32</b>
<b>Referencie.....</b>	<b>33</b>
<b>Zoznam príloh .....</b>	<b>35</b>

# Úvod

Pri mnohých vedeckých štúdiách, či bežnej diagnostickej praxi sa využívajú mikroskúmkové dosky. Aj keď existujú automatizované prístroje na pipetovanie, nie sú vhodné pre každú situáciu. Preto je pri pipetovaní ľudský faktor stále slabým článkom. Pri pipetovaní väčšieho počtu vzoriek denne, je prirodzené, že môže dôjsť k chybe, čo môže znamenať nezanedbateľné zvýšenie nákladov. Toto riziko je možné minimalizovať vyžitím špecializovaných zariadení indikujúcich, ktoré skúmavky už boli použité.

Táto bakalárska práca sa zaoberá návrhom jednoduchého zariadenia slúžiaceho na indikáciu napipetovaných polôh v mikroskúmkovej doske, čo následne pomôže orientácii pri práci. Navrhované zariadenie využíva optickú indikáciu na 96 pozíciách. Vlastné LED diódy sú ovládané platformou Arduino/Genuino, v ktorej je zabudovaný AVR mikroprocesor spoločnosti Atmel s označením Atmega16U2. V práci je rozobraná metóda indikácie, hardwarový návrh indikačnej dosky, ktorá je pripojená k Arduinu a špecifikované požiadavky na vlastný ovládací software.

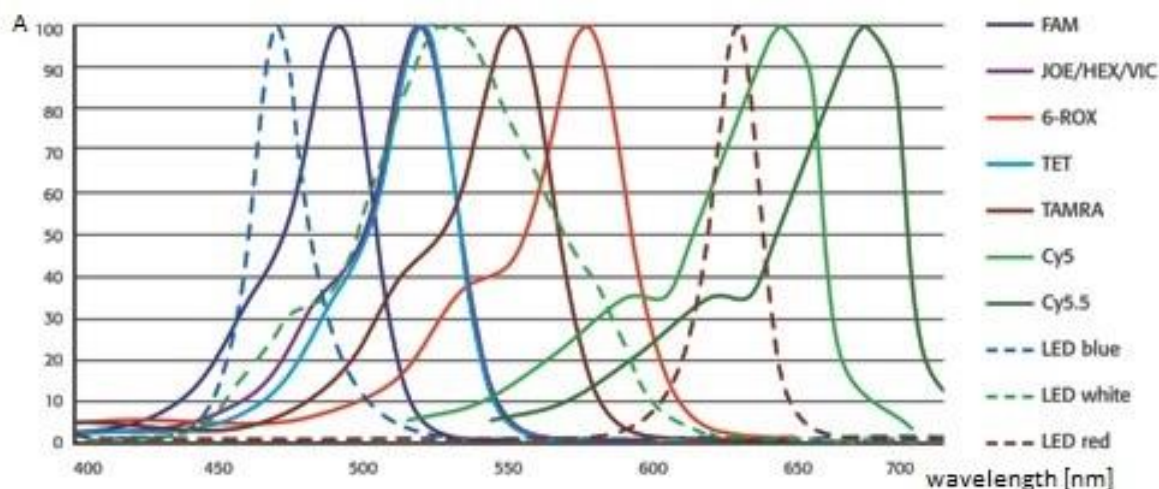


# 1 Špecifikácia požiadavkou na výsledné zariadenie

Požiadavky na zariadenie sú dvojakého typu. V prvom rade sa jedná o požiadavky na mechanickú konštrukciu, ako je odolnosť, jednoduché čistenie, či kompatibilita s rôznymi mikroskúmkovými doskami. No rovnako dôležité sú požiadavky týkajúce sa vlastného riešenia elektroniky: nezávislé ovládanie, nastavovania rôznych režimov a funkcií.

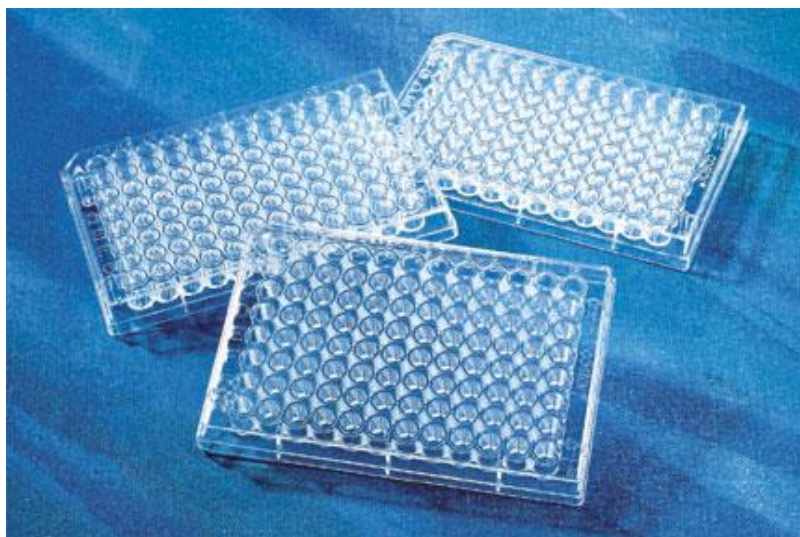
Keďže veľmi dôležitou požiadavkou je možnosť zariadenie očistiť od biologického materiálu a chemikálii bežnými komerčnými prostriedkami na báze alkoholu, alebo chloridu sodného, bez toho aby si to vyžadovalo špeciálne náradie, nesmie si tento úkon vyžadovať zložitú demontáž. A zároveň, nesmie jeho používaním dôjsť ku kontaminácii vzoriek.

Pri rôznych pokusoch sa na značenie používa farbenie vzoriek oligonukleotidami, ktoré sa aktivujú svetlom o určitej špecifickej vlnovej dĺžke. Preto je potrebné zamedziť, či aspoň minimalizovať exponovanie vzorku aktivovanej LED dióde s vyžarovacím spektrom spôsobujúce rozpad danej farby. Jednotlivé spektrá svetla aktivujúce rôzne farby sú zobrazené na Obrázku 1.



**Obrázok 1.** Absorbančné spektrá jednotlivých používaných oligonukleotidov [16]

Keďže väčšina výrobcov navrhuje svoje prístroje tak, aby ste si od nich na ich používanie museli zadovážiť aj špecificky upravené spotrebné príslušenstvo, čo mikroskúmková doska nepochybne je, je dôležité, aby výsledné zariadenie poskytovalo dostatočnú univerzalitu pre použitie na rôznych pracoviskách s rôznymi dodávateľmi.



**Obrázok 2.** Mikroskúmvkové dosky firmy Costar® [4]



**Obrázok 3.** PCR Mikroskúmvkové dosky pre firmu Roche® [5]

Na Obrázkoch 2 a 3 sú zobrazené mikroskúmvkové dosky rôznych výrobcov a rôznej stavby. Všetky takéto dosky majú spoločnú vlastnosť a tou je typizovaná vzdialenosť stredov jednotlivých jamiek 9 mm. Samotná Indikácia musí byť schopná spolupracovať s 1,8 a 12 kanálovými pipetami, rovnako ako musí byť schopná indikovať tripletový režim pipetovania. Musí byť teda navrhnutý jednoduchý spôsob nastavovania požadovaného režimu.

Používaním tohto zariadenia, nesmie dôjsť k zvýšenej únave laboratórneho pracovníka, teda pri použití zariadenia s LED diódami musí byť splnená určitá minimálna obnovovacia frekvencia jednotlivých LED diód, rovnako by malo byť možné nastavovať intenzitu svietenia diód s možnosťou uloženia nastavenia do pamäti zariadenia. Ďalšie informácie o zotrvačnosti oka sú v [14].

Veľmi dôležitým aspektom pri návrhu zariadenia boli aj samotné náklady. Teda zariadenie by malo zohľadniť finančné možnosti akademických, vedeckých a lekárskeho laboratórnych pracovísk, kde je potreba takéhoto zariadenia aktuálna.

Zariadenie by sa malo nastavovať spôsobom, ktorý by nemal nijak obmedzovať laboratórneho pracovníka pri práci. Jeho odozva na podnet pracovníka, by mala byť dostatočne rýchla aby nedochádzalo k jeho mylnému informovania, teda najlepšie v intervale 50 až 500 ms. Na jeho použitie nebude potrebný nadriadený systém, no bude disponovať možnosťou bezdrôtového napojenia na PC, ktorý bude vedieť pomocou komunikačného protokolu meniť určité parametre zariadenia.

## 2 Teoretická časť

### 2.1 Možnosti vyhotovenia zariadenia

Spôsoby indikovania napipetovaných pozícií môžeme rozdeliť do viacerých podkategórií, pričom u všetkých samotná indikácia prebieha pomocou viditeľnej časti elektromagnetického spektra.

Prvou možnosťou je využitie už hotových, komerčných displejov, ktoré sú schopné programovateľného maticového zobrazovania. Príkladom takýchto zariadení môže byť väčší „múdry telefón“, či tablet. Na tomto princípe, už existujú softwarové produkty [11] [13], ktoré vyžadujú dokúpenie rôznych stojanov a nadstavieb na tablet, ako je zobrazené na Obrázku 4.



**Obrázok 4.** Stojanová nadstavba pre software PlatR Smart Piepetting od firmy Biosistematika [13]

Takéto riešenie vyžaduje samotný špecifický tablet, platenú aplikáciu prípadne stojan pre mikroskúmvkovú dosku. Nevýhodou je menší kontrast displeja a zároveň dochádza k veľakrát nechcenému ožarovaniu vzoriek svetlom o nevhodnej vlnovej dĺžke. Pri použití stojanu z Obrázku 4, zároveň zariadenie stráca univerzalitu a schopnosť fungovať s rôznymi mikroskúmvkovými doskami. Taktiež vhodnosť takého to zariadenia do sterilného prostredia je veľmi diskutabilná. Výhodou je ak tablet, či „múdry telefón“ využíva daný laboratórny pracovník, či zariadenie aj na iné potrebné účely.

Podmienky by mohlo spĺňať aj zariadenie využívajúce delokalizovaný zdroj svetla od mikroskúmvkovej dosky, ktoré by bolo schopné adresovať svetelný tok na presnú súradnicu jeho zorného poľa. Takéto zariadenie by z hygienických a praktických dôvodov

muselo byť umiestnené v dostatočnej vzdialenosti a tak by pravdepodobne muselo obsahovať zdroj svetla o podstatnej intenzite, kde by mohlo dôjsť k výraznejšej aktivácii farbiacich oligonukleotidov. Takéto zariadenie by muselo disponovať kamerou a dostatočnou výpočtovou pamäťou na vykonávanie jednotlivých príkazov potrebných pre automatickú detekciu.

Ďalšou možnosťou je využitie maticovo usporiadaných 96 LED diód, teda pre každú mikroskúmvku jedna dióda. Samotné iniciovanie zapnutia LED diód sa udeje buď automaticky, alebo manuálne.

Automatickú iniciáciu možno uskutočniť rôznymi spôsobmi v závislosti od toho, či sa rozhodneme pre detekciu pohybu samotnej pipety, alebo pre detekciu kvapalného obsahu jamiek. Príkladom detekcie pohybu pipety môže byť triangulácia použitím kamery a laseru, no pri použití viackanálových pipiet by tento prístup pravdepodobne vyžadoval použitie viacerých kamier. Príkladom automatickej detekcie obsahu jamiek, môže byť použitie ultrazvuku, alebo lomu svetla s následnou detekciou odozvy systému na fyzikálnu zmenu po napipetovaní roztoku. Výhodou automatickej iniciácie je detekcia pozícií, ktoré nenasledujú systematicky za sebou.

Z charakteru práce je manuálnu iniciáciu najrozumnejšie uskutočniť pomocou nožného pedálu, ktorý bude iniciovať zasvietenie LED diód systematicky a teda budú potrebné určité módy, pre jednokanálové a viac kanálové pipety. Komerčné riešenie týmto spôsobom síce existuje, ale jeho finančná dostupnosť je malá [17].

## 2.2 Riadenie elektroniky

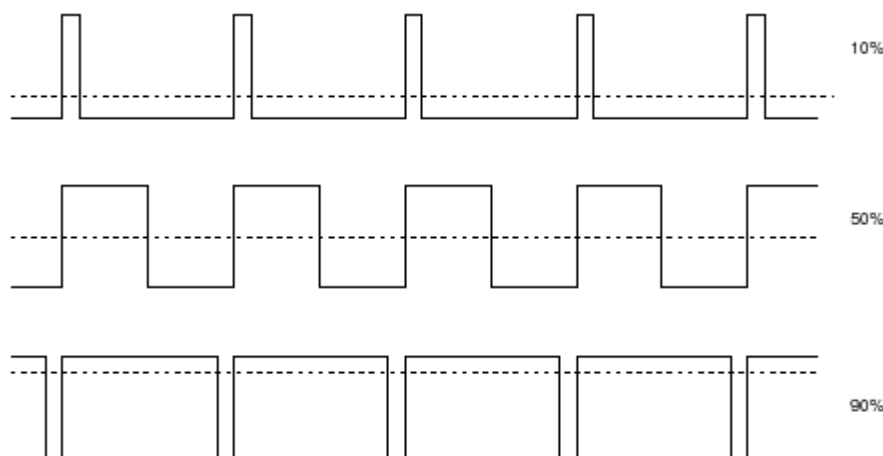
### 2.2.1 Impulzová šírková modulácia

Impulzová šírková modulácia – pulse width modulation PWM je spôsob generovania spojitého analógového signálu pomocou dvojstavového digitálneho signálu. Počet generovaných analógových úrovní je daný nastavovaním časovania pri generovaní PWM. Vlastný PWM signál je periodický s periódou  $T$  a informácia o veľkosti analógového signálu je určená striedou. Po odfiltrovaní zložiek vyšších frekvencií je na výstupe filtra čisto analógový signál [8].

Výpočet striedy  $D$  je daný podielom doby kedy je funkcia  $\tau$  nenulová voči jej perióde  $T$ . Jej vzťah sa zapíše ako:

$$D = \frac{\tau}{T} \quad (2.1)$$

Na Obrázku 5 je znázornené ako vyzerá ideálna modulácia pracovného intervalu signálu na úrovni 10, 50 a 90 %. Využitie takejto modulácie je veľmi široké a možno sa o nej dočítať v [8].



**Obrázok 5.** Časový priebeh PWM signálu pre striedy 10, 50 a 90 %

### 2.2.2 LED dióda

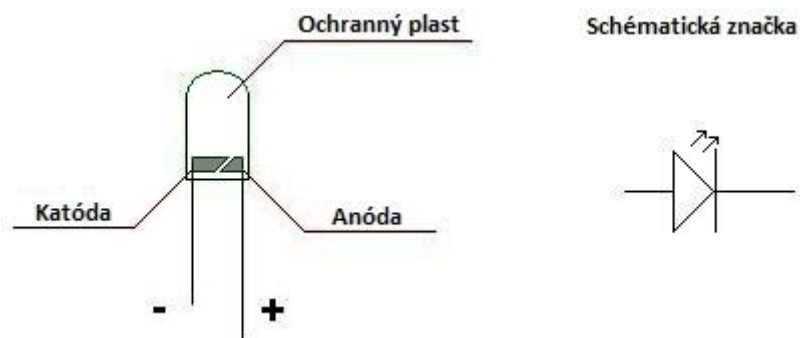
Light emitting diode LED je druh polovodičovej diódy, ktorá je usporiadaná k emitovaniu svetla. Pri rekombináciách párov elektron-diera sa uvoľňuje energia, ktorá môže byť vyžiarená vo forme fotónov, prípadne je absorbovaná kryštálovou mriežkou a tvorí teplo. Ak ponecháme bokom problematiku nepriameho polovodiča, môžeme pre priamy polovodič konštatovať, že uvoľnená energia je daná šírkou zakázaného pásma (veľkosťou energetickej medzery). Šírka zakázaného pásu, respektíve energie pre jeho prekonanie a frekvencia vyžarovaného svetla sú zviazané cez Planckovu konštantu. Ich vzťah je vyjadrený v rovnici 2.2 [8].

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.2)$$

kde  $E$  je energia,  $h$  je planckova konštanta,  $f$  je frekvencia,  $c$  rýchlosť svetla vo vákuu a  $\lambda$  je vlnová dĺžka svetla vo vákuu.

Medzi materiálmi typu n, ktoré predstavujú majoritné nosiče elektrónov, a typu p, ktoré predstavujú majoritné nosiče dier, vzniká p-n prechod. Priložením externého napätia správnej polarizácie dochádza k redukcii potenciálovej bariéry a narastá prúd skrz prechod. Majoritné nosiče prechádzajúce cez prechod rekombinujú, čím dochádza ku generovaniu fotónov. V princípe môže mať LED relatívne úzku šírku spektrálneho vyžarovania do niekoľkých desiatok nm. Schémová značka LED diódy je zobrazená na Obrázku 6.

Ich uplatnenie, okrem zdroja interiérového, či exteriérového svetla, displejov a rôznych kontroliek, sa našlo aj v uchovávaní dát na CD a DVD nosiče, či ako zdroj svetla pri prenose informácií optickými vláknami [8].



**Obrázok 6.** LED dióda a jej schématická značka

### 2.2.3 AVR mikrokontrolér

AVR je označenie pre 8 a 32 bitové mikrokontroléry od firmy Atmel. Takéto mikrokontroléry v sebe majú zabudované tri druhy pamätí. Programovateľná pamäť Flash, slúži na uchovávanie inštrukcií riadiacich daný mikroprocesor. Výrobcom je garantovaných až 10 000 možností na prepis tejto pamäte. Ďalšou pamäťou je pamäť RAM (SRAM), ktorá slúži na uchovávanie dočasných dát, ktoré sa po odpojení napájania vymažú. A poslednou pamäťou je pamäť EEPROM, ktorá poskytuje priestor na ukladanie pomocných dát, teda väčšinou premenné ovplyvňujúce konfiguráciu aplikácie. U tejto pamäti, rovnako ako u pamäti Flash, nedochádza k vymazaniu dát po odpojení napájania a taktiež má obmedzený garantovaný počet prepisov, stanovený na 100 000. Rozdiel medzi Flash a EEPROM je z hľadiska programátora v tom, že vlastný program má umožnené zapisovať konfiguračné dáta do EEPROM, ale nemôže meniť sám seba (pokiaľ neuvažujeme špeciálne techniky pre upgrade firmware) [1].

### 2.2.4 Sériová linka a Bluetooth

Prenos dát sériovou linkou znamená, že sa dáta budú prenášať postupne za sebou. Štandard zvaný RS-232, definuje ako prenosovú rýchlosť tak napätie pre jednotlivé logické úrovne a aj bitový formát. Logické úrovne pre dátové signály sú +3 V až +15 V pre logickú 0 a -3 V až -15 V pre logickú 1. Pre signály riadiace je to naopak. V systémoch s jednoduchým napájaním sa môžeme často stretnúť s rozhraním UART, ktoré využíva iba odlišné úrovne v rozsahu napájacieho napätia systému. Pre prevod na RS-232 sa musí použiť vhodný budič. RS-232 definuje 7-9 bitový prenos informácií, kedy sa dáta potrebné k prenosu rozdelia na menšie bloky [9].

Prvým bitom v bloku je štartovací bit, ktorý prijímaciemu zariadeniu definuje začiatok čítania dát a je definovaný ako logická 0.

Nasledujúcimi bitmi sú samotné dátové bity, ktoré chceme odoslať. Ich počet môže byť až 9 v závislosti na parametroch komunikácie.



Za nimi je zaradený paritný bit, ktorý pomáha indikácii chyby. Jeho hodnota sa určí zo súčtu logických jednotiek z dátových bitov a to buď je ich súčet párnym číslom a parita je rovná logickej nule, alebo je ich súčet nepárnym číslom a parita bude rovná logickej 1. Takto popísaná parita sa volá párna parita, existuje k nej tiež antagonistická nepárna parita.

Za paritným bitom má svoje miesto ukončovací bit, ktorý určuje minimálny čas zotrvania linky po odoslaní jedného bajtu v stave logickej 1.

Sériová linka vyžaduje špeciálny hardware a tým je univerzálny asynchrónny/synchrónny prijímač/vysielač, inak UART. Ten obsahuje v najjednoduchšom prípade iba piny TX pre vysielanie a RX pre prijímanie dátového toku. Pokojová hodnota signálu je rovná logickej 1 a vysielanie začína jedným bitom logickej 0 (štartovací bit). UART môže byť nakonfigurovaný okrem asynchrónneho módu, ktorý je kompatibilný s RS-232 aj do módu synchrónneho, kde prebieha súbežne s dátovým tokom aj synchronizačný tok, v ktorom sú vysielané riadiace bity pre prijímacie zariadenie.

Vysielanie bajtu prebieha zaradením štartovacieho a stopovacieho bitu k vysielaným bitom. Ich prijímanie prebieha postupným zaraďovaním do registru a po prijatí posledného bitu je celý bajt odoslaný do buffera, odkiaľ sa dáta pošlú do ďalšieho registru na spracovanie, hneď ako je voľný. Takto sa minimalizuje riziko straty dát ich prepísaním [9].

Takýto princíp prenosu dát sa dá realizovať aj využitím otvoreného štandardu pre bezdrôtový prenos Bluetooth BT. BT vzniklo ako logický nasledovník IrDA (bezdrôtový optický prenos), teda ako primárna náhrada kábla sériovej linky bezdrôtovým svetelným respektíve rádiovým prenosom. BT pracuje v pásme 2,4 GHz a je to široko využívaný štandard pre nízkoenergetický prenos dát na krátke vzdialenosti.

Keďže BT pracuje v kmitočtovo voľnom pásme je potrebné zabezpečiť prepojenie dvoch zariadení, zabezpečením vlastných dát, ale tiež topologickým usporiadaním bod-bod. To sa v praxi deje zadaním kódu PIN, ktorý sa musí zhodovať v oboch zariadeniach. Tento PIN môže byť napevno dedične zakódovaný v zariadeniach, prípadne, pokiaľ majú displej, môže sa tento PIN upravovať podľa potrieb užívateľov [3].

## 2.3 Programovanie v Arduino IDE

Arduino IDE je postavené na jazyku Java. Je to upravená verzia prostredia Processing obohatená o podporu jazyka Wiring.

Každý program sa skladá z dvoch hlavných blokov, ktorých zápis je zobrazený na Obrázku 7. Blok `void setup()` zahŕňa všetky programové procesy, ktoré sa majú vykonať iba raz, hneď po spustení programu. Za spustenie programu sa považuje pripojenie napájania, stlačenie tlačidla reštart umiestneného na doske Arduina, či nahranie kódu do Arduina. Druhý



blok predstavuje *void loop()*, v ktorom majú miesto príkazy opakujúce sa dokola až po odpojenie napájania.

```
void setup() {  
    // put your setup code here, to run once:  
  
}  
  
void loop() {  
    // put your main code here, to run repeatedly:  
  
}
```

**Obrázok 7.** Hlavné bloky programu v Arduino IDE pre dosky Arduino/Genuino

Základnými príkazmi pre nastavenie digitálnych pinov im dokážeme určiť, či budú slúžiť ako vstup, alebo výstup v požadovanom systéme. Na takúto konfiguráciu slúži príkaz *pinMode(pin,OUTPUT);* respektíve *pinMode(pin,INPUT);*, ktorý sa väčšinou nachádza v úvodnom bloku *void setup()*. Pre čítanie/nastavovanie ich logických úrovní slúžia príkazy *digitalRead/digitalWrite*. Takýmto princípom je možné konfigurovať základné funkcie napríklad na zapnutie LED diódy [19].

Arduino IDE ako predstaviteľ pomerne komplexných operátorov na programovanie mikrokontrolérov prirodzene obsahuje všetky funkcie logických operácií ako aj bežné iteračné, či podmienkové funkcie. Okrem základných funkcií obsahuje celé sady iných užitočných funkcií na spracovávanie digitálnych, či analógových signálov, rovnako podporuje rôzne toolboxy pre implementáciu špecifického rozšírenia. Viac o programovaní v tomto jazyku sa možno dočítať na oficiálnych stránkach, alebo v [19].

## 3 Praktická časť

### 3.1 Návrh a popis riešenia

Na základe spomenutých požiadaviek je z hľadiska finančných preferencií najvhodnejší spôsob indikácie pomocou matice LED diód umiestnených pod mikroskúmvkovou doskou, pričom systematická iniciácia diód bude vykonávaná pomocou tlačidla.

Využitím platformy Arduino/Genuino Mega2560 je vývoj zariadenia zjednodušený o už zaintegrovanú možnosť napájania 9 V akumulátorom. Zároveň platforma poskytuje dostatočný výpočtový výkon na jednoduché funkcie, pričom cena ostáva rádovo nižšia voči vlastným skonštruovaným obvodom s rovnakými parametrami.

Pri výbere vhodnej LED diódy sa kládla požiadavka v prvom rade na jej vyžarovacie spektrum. Z Obrázku 1 je jasne viditeľné, že jednou diódou s vyžarovacím spektrom vo viditeľnom spektre nie je možné dosiahnuť kompatibilitu so všetkými bežne využívanými oligonukleotidami. Riešením by mohlo byť využitie RGB LED diód, čo so sebou prinesie zložitejšie zapojenie a predraženie výrobku. Zariadenie popisované v práci pracuje iba s jedným typom červenej LED diódy s vyžarovacou špičkou vlnovej dĺžky na 625 nm, ako je zobrazené na Obrázku 1. Použitím tejto diódy síce nebude zariadenie kompatibilné s oligonukleotidami, ktorých aktivačné spektrá ležia v pravej časti viditeľného spektra, no výrobné náklady sa udržia v rozumných číslach [7].

Využitím platformy Arduino/Genuino, sa zjednodušuje aj bezdrôtové napojenie na nadriadený systém. Zvolený bezdrôtový prenos prebieha pomocou BT modulu HC-05. Nadriadený software je naprogramovaný v prostredí Matlab a komunikácia s platformou prebieha pomocou sériovej linky s definovaným textovým komunikačným protokolom, ktorý umožňuje nesystematické iniciovanie zapnutia LED diód a úpravu nastavenia jasu diód.

#### 3.1.1 Návrh elektrického obvodu

Celý konštruovaný obvod musí odpovedať parametrom platformy Arduino/Genuino Mega2560 a zvolenej LED dióde. Napájanie zariadenia je uskutočnené cez platformu Arduino/Genuino Mega2560 9 V akumulátorom, ktorý splňuje odporúčaný rozsah výrobcom 7-12 V. Je pripojiteľný jednoduchým spínačom a poskytuje bezdrôtovú mobilitu zariadenia. Mikroprocesor poskytuje na všetkých 54 digitálnych pinoch v nastavení LOW maximálne 0,7 V a HIGH minimálne 4,2 V. Ich maximálna prúdová zaťažiteľnosť je 40 mA, pričom piny GND a  $V_{CC}$  nesmie zaťažiť viac ako 200 mA [2] [10].

Za LED diódu bola zvolená dióda s označením OSR50805C1E, ktorá vyžaruje elektromagnetické vlnenie so správnou vlnovou dĺžkou, je možné ju budiť priamo z pinov čipu a zároveň je finančne veľmi dostupná. Zvolením tejto diódy sa predišlo budeniu diód

pomocou budiacich tranzistorov, čo celý obvod zjednodušuje a zbytočne nepredražuje. Táto LED dióda je schopná zniesť záťaž až 100 mA po dobu maximálne 0,1 ms [7].

Pre splnenie zadaných požiadaviek a zachovanie jednoduchosti obvodu, musí byť v jednom momente aktivovaná iba jedna LED dióda. Nejedná sa o klasické maticové zobrazovanie. Toto usporiadanie umožňuje použiť iba jeden rezistor na celý riadok za cenu zvýšenia systémových nárokov, pretože rovnako ako jednotlivé riadky, sú aj diódy v danom riadku časovo multiplexované. Vzhľadom k hodnote prúdu diódou a fakte, že v danom riadku svieti vždy iba jedna, nie je potrebné použiť budiaci tranzistor a riešenie sa stáva minimalistickým, čo do počtu komponentov. Pri návrhu napájacích vodičov pre každú diódu zvlášť by si návrh vyžadoval 96 pinov a aj 96 rezistorov. Navrhnuté zariadenie využíva iba 20 pinov a 8 rezistorov. Celkové porovnanie jednotlivých metód maticového zobrazenia v závislosti od počtu vodičov, tranzistorov a rezistorov je zobrazené v tabuľke 1.

Navrhnuté maticové budenie LED diód prebieha privedením stavu HIGH na prvý riadok matice a následnou kontrolou potreby privedenia pinu napojeného na stĺpec matice na stav LOW. V ďalšej iterácii mikroprocesora sa pin stĺpca nastaví na späť hodnotu HIGH a cyklus vyhodnocuje stav pinu ďalšieho stĺpca. Po skontrolovaní a vykonaní zmien pre všetky stĺpce, sa cyklus opakuje pre zvyšné riadky. Tento spôsob si vyžadoval implementáciu iba 8 odporov, pre každý riadok jeden. Hodnota odporov je pomocou Ohmového zákona vyjadrená v rovnici 3.1.

$$U_{PIN} = U_R + U_{LED}$$

$$U_R = U_{PIN} - U_{LED} = 4,2 - 2,2 = 2 \text{ V}$$

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{2}{0,02} = 100 \Omega \quad (3.1)$$

pričom,  $U_{PIN}$  predstavuje minimálne napätie poskytvané pinom.  $U_{LED}$  predstavuje napätie potrebné pre LED diódu pri prúdovej záťaži  $I = 20 \text{ mA}$  a jeho hodnota bola vyčítaná z volt-ampérovej charakteristiky.  $U_R$  predstavuje požadovaný úbytok napätia na odporoch a  $R$  vyjadruje hodnotu odporu implementovaného rezistora. Uvedená podmienka zaistí, že dióda bude aj v najnepriaznivejšom prípade minimálneho napätia na výstupnom pine dostatočne svietiť. Musíme tiež overiť, že pri druhom extréme nedôjde k prekročeniu dovolených medzí uvedených komponentov (predovšetkým výstupný prúd pinu a prúd diódou). Najbližšia vyššia dostupná hodnota rezistoru v rade E24  $R = 110 \Omega$  všetkým uvedeným požiadavkom vyhovuje [2] [7].

Výhoda popísaného maticového zobrazenia je zobrazená v Tabuľke 1.

**Tabuľka 1.** Porovnanie metód zapojenia LED matíc

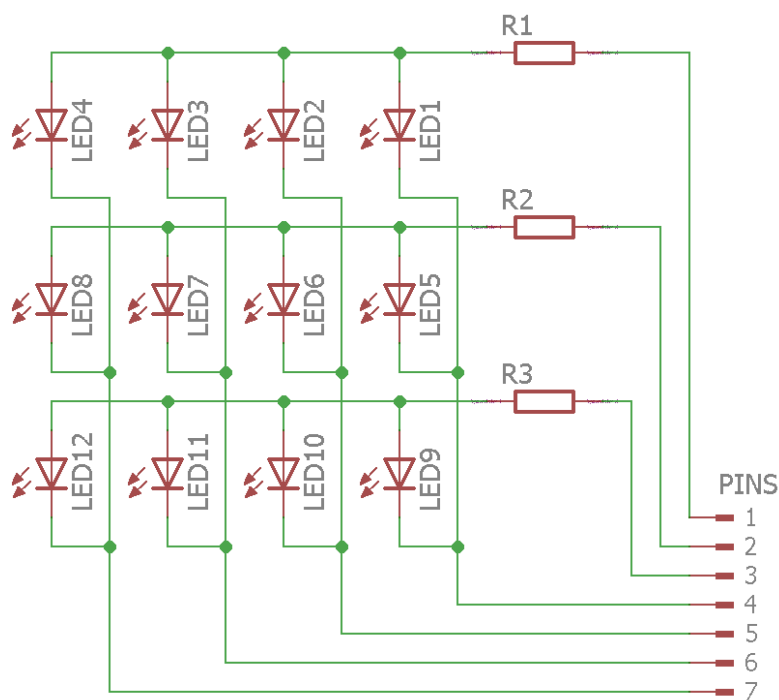
Počet LED	8	16	32	64	96	128	256
Metóda zobrazovania po riadkoch s budiacimi tranzistormi							
Počet vodičov	8	10	14	18	22	26	34
Počet rezistorov	14	24	44	80	116	152	288
Počet tranzistorov	6	8	12	16	20	24	32
Metóda s napájacími vodičmi pre každú diódu							
Počet vodičov	9	17	33	65	97	129	257
Počet rezistorov	9	16	32	64	96	128	256
Počet tranzistorov	0	0	0	0	0	0	0
Metóda zobrazovania po riadkoch							
Počet vodičov	6	8	12	16	20	24	32
Počet rezistorov	8	16	32	64	96	128	256
Počet tranzistorov	0	0	0	0	0	0	0
ZVOLENÁ Metóda zobrazovania každej diódy zvlášť							
Počet vodičov	6	8	12	16	20	24	32
Počet rezistorov	2	4	4	8	8	8	16
Počet tranzistorov	0	0	0	0	0	0	0

Vzhľadom k nutnosti časového multiplexovania LED v jednotlivých riadkoch, je potrebné venovať sa rozboru časovania. Vzťah pre vyjadrenie potrebného času  $T_{ON}$ , kedy je LED zapnutá je uvedený v rovnici 3.2.

$$T_{ON} = \frac{T}{96} = \frac{1,14 \cdot 10^{-3}}{96} \cong 0,012 \text{ ms} \quad (3.2)$$

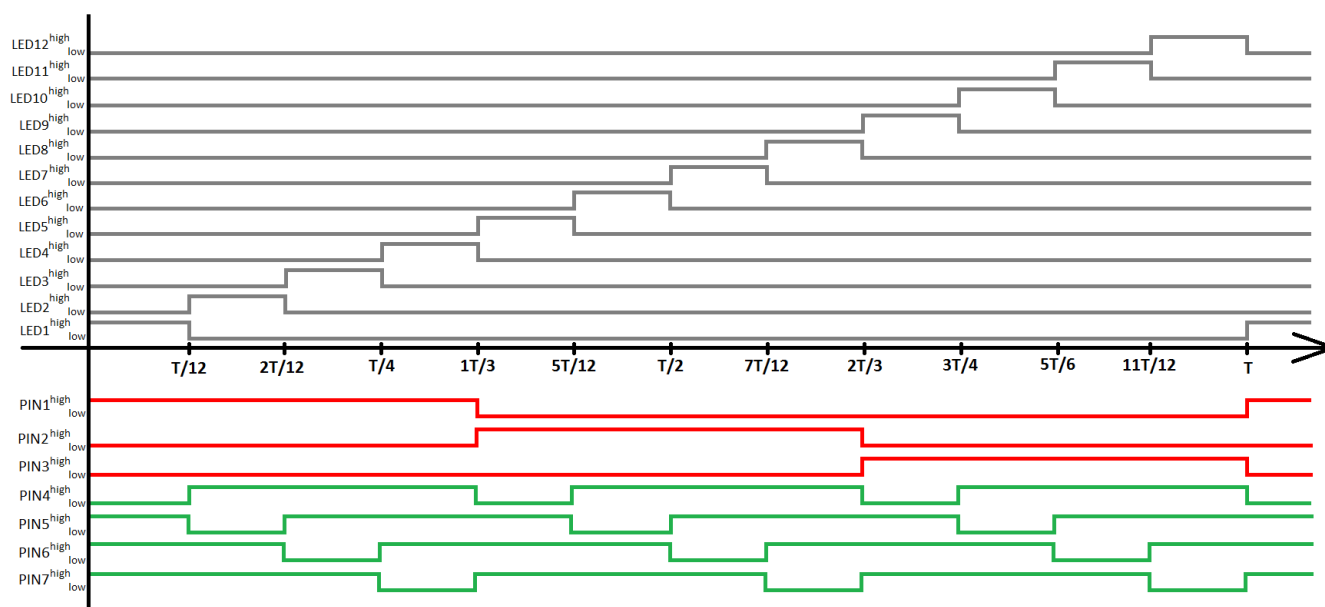
pričom  $T$  predstavuje čas potrebný na vykreslenie všetkých 96 diód. Tento čas je daný vlastným algoritmom, hodnotou kmitočtu oscilátora, ale tiež požiadavkou na odozvu vykresľovania a zotrvačnosti oka. Tento čas bol stanovený odčítaním z osciloskopu.

Principiálne maticové zapojenie diód je zobrazené na Obrázku 8. Ich softwarové adresovanie je popísané v ďalšej kapitole.



**Obrázok 8.** Ilustračné schéma zapojenia matice LED diód.

Graf znázorňujúci funkčné stavy jednotlivých LED diód a pinov v čase z Obrázku 8. je zobrazený v Obrázku 9. Pričom hodnota  $T$  značí čas potrebný na vykreslenie celej matice diód.



**Obrázok 9.** Funkčné stavy jednotlivých LED diód a pinov v čase

Na vyvolanie dojmu kontinuálneho žiarenia LED matice musí dochádzať k rýchlym zmenám úrovní na katódach a anódach diód. Týmto spôsobom sa docielila impulzná šírková modulácia s pomerom striedy 1:96, ktorou sa zredukoval teoretický maximálny možný výkon

LED diód. Pre riadenie jas LED diód by sa ďalej skracovala aktívna doba svietenia jednotlivých LED. Takto by celková doba na vykreslenie matice  $T$  bola konštantná. V našom prípade ale taká požiadavka nie je a vzhľadom na dostatočný výpočtový výkon si môžeme dovoliť zníženie obnovovacej frekvencie za cenu získania obmedzeného digitálneho riadenia jas LED.

Striedu teda možno zmenšovať pridávaním omeškania medzi vypnutím a zapnutím jednotlivých diód a tým implementovať funkciu zoslabovania intenzity žiarenia LED do systému. Vzťah pre tento jav je vyjadrený v rovnici 3.3.

$$D = \frac{T_{ON}}{T + T_{ADD}} \quad (3.3)$$

Strieda  $D$  má v základnom nastavení hodnotu 1,05%. K výpočtu upravenej striedy je potrebná hodnota  $T_{ADD}$ , ktorá predstavuje celkový pridaný čas pri vykresľovaní jednej matice LED diód. Využitím tohto vzťahu je možné dopočítať hodnotu  $T_{ADD}$  pre rôzne úrovne striedy. Tieto hodnoty sú zapísané v Tabuľke 2, kde je pre každú hodnotu striedy vypočítaná aj obnovovacia frekvencia celého maticového poľa  $f$ . Za 100% intenzitu vyžarovania LED sa považuje stav kedy sa  $T_{ADD}$  rovná 0 ms a strieda  $D$  1,05%.

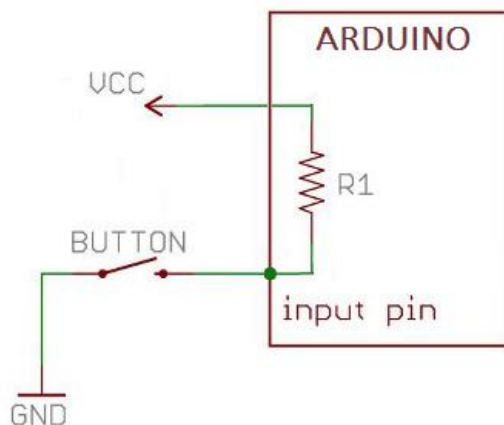
**Tabuľka 2.** Závislosť obnovovacej frekvencie matice na striede

Intenzita [%]	100	90	80	70	60	50	40	30
$D$ [%]	1,05	0,95	0,85	0,75	0,65	0,55	0,45	0,35
$T_{ADD}$ [ms]	0	0,12	0,27	0,46	0,71	1,04	1,53	2,28
$f$ [Hz]	877	794	709	625	541	459	375	292

Keďže účinnosť LED diódy, nie je konštantná pre všetky hodnoty prúdu, tak zníženie striedy na polovicu neznamena polovičné zníženie intenzity vyžarovania počtu lumenov. Súčasne sa môžu prejavovať nedokonalosti zopnutia a rozopnutia obvodu. Preto je intenzita v Tabuľke 2. iba teoretická.

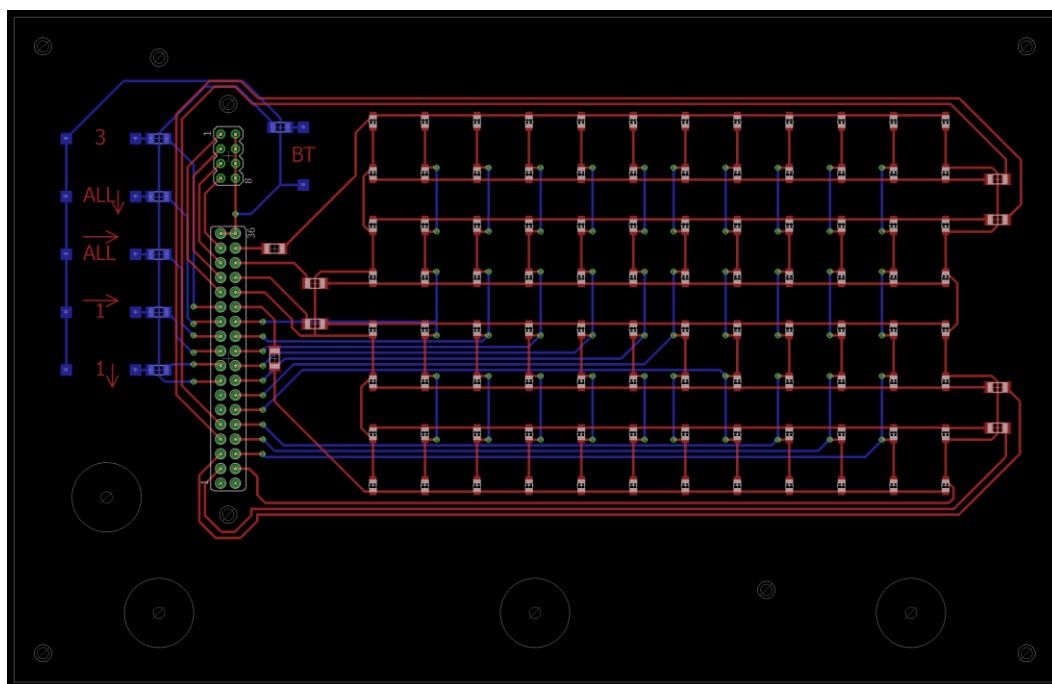
Nastavenia jednotlivých módov iniciácie zapnutia LED diód je sprostredkované prostredníctvom digitálneho tlačidla, ktoré umožňuje prepínanie medzi všetkými piatimi požadovanými módmi. Digitálne tlačidlá inkrementácie a dekrementácie sú, rovnako ako tlačidlo pre voľbu módov, pripojené cez interný pull-up rezistor poskytovaný platformou. Jeho zapojenie je zobrazené na Obrázku 10.

Pre indikáciu zvoleného módu sú v ľavej časti zariadenia umiestnené LED diódy, ktoré spolu s piktogramami vyfrézovanými na doske plošných spojov DPS informujú používateľa o zvolenom móde.



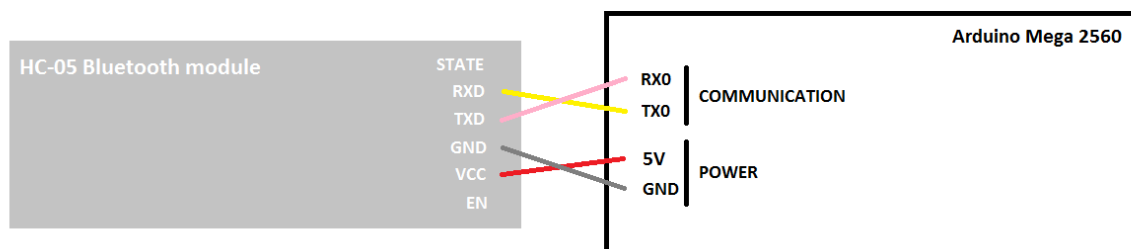
**Obrázok 10.** Zapojenie pull-up rezistora.

Vyhotovená DPS je obojstranná a celkové zapojenie je dvojúrovňové. Celý návrh schémy, ako aj rozloženie dosky plošných spojov prebiehal v programe Eagle 7.7.0. Prvá úroveň je platforma Arduino spoločne s modulom HC-05 a druhá, vonkajšia, spojená s prvou konektorom, je obvod zapojenia LED matice s pridaným konektorom pre napojenie hardwarových tlačidiel. Výsledná doska plošných spojov je zobrazená na Obrázku 11. Horná vrstva je znázornená červenou a spodná modrou farbou.



**Obrázok 11.** DPS zhotoveného zariadenia.

BT modul HC-05 sa pripojí k platforme pomocou predpripravených sériových pinov TX a RX, ako je zobrazené na Obrázku 12.



**Obrázok 12.** Prepojenie modulu HC-05 s platformou Arduino/Genuino

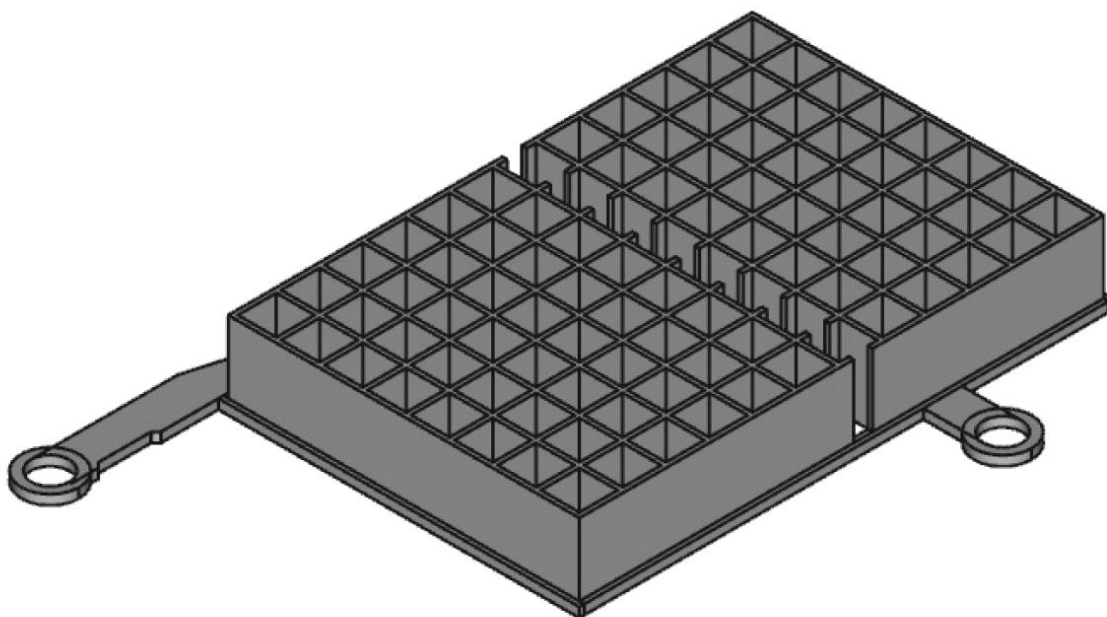
### 3.1.2 Zhotovené stojany a obal zariadenia

Ako metodika zhotovenia plastových častí výrobku bola zvolená 3D tlač. Jej výhody sú predovšetkým možnosť vyhotovenia plastových dielcov veľmi špecifických tvarov, ktoré táto práca vyžaduje. Využitie 3D tlače v tejto práci je kľúčové z hľadiska dosiahnutia univerzálnosti zariadenia pre prácu s mikroskúmkovými doskami rôznych výrobcov. Návrh všetkých plastových častí v tejto práci sa uskutočnil v programe FreeCAD.

Pri návrhu obalu sa zvolila varianta, kde DPS tvorí predný kryt zariadenia. Týmto spôsobom sa zredukuje vzdialenosť medzi LED diódami na DPS a mikroskúmkami na minimum. Cuprexit FR4, z ktorého je DPS vyrobená poskytuje dostatočnú mechanickú odolnosť voči pracovným podmienkam v laboratórnych zariadeniach. Na DPS je aplikovaný prípravok Urethan 71 pre zamedzenie oxidácie a kontaktu živých častí s prostredím. Následne je aplikovaný priesvitný lak na báze riedidla, ktorý zabezpečí umývateľnosť povrchu zariadenia bežne používanými čistiacimi prostriedkami a zároveň chráni plastové puzdrá súčiastok voči pôsobeniu UV žiarenia. Spodná časť obalu je vytlačená 3D tlačou z materiálu PLA (Polylactic acid), ktorého mechanické a štrukturálne vlastnosti vyhovujú potrebám a účelu tohto zariadenia. Obal umožňuje zabudovanie 9 V akumulátora aj všetkej kabeláže a poskytuje zariadeniu dostatočnú ochranu a mobilitu [6] [12].

Univerzálnosť zariadenia je podmienená výmennými stojanmi, ktorých výmena je jednoduchá a nevyžaduje žiadnu zložitú demontáž. Stojan slúži na fixáciu mikroskúmkovej dosky na jednom mieste nad indikačnými LED diódami. Upevnenie stojanu na DPS je uskutočnené pomocou dvoch kolíkov, ktoré sú k DPS priskrutkované a do ktorých sa stojan zasunie. Jeden zo stojanov je vyobrazený na Obrázku 13.





**Obrázok 13.** Navrhnutý stojan pre 96 a 48 jamkové mikroskúmovkové dosky

Všetky stojany je rovnako možné umývať čistiacimi prostriedkami na báze alkoholu, čím sa kontaminácia a následné ovplyvnenie pokusov touto príčinou zníži na minimum.

### 3.1.3 Popis riadiaceho softwaru

Mikroprocesor bol naprogramovaný pomocou programu Arduino IDE, ktorý je súčasťou open-source produktov značky Arduino [19].

Adresovanie LED diód v mikroprocesore prebieha postupným čítaním binárnej matice s rozmermi 8x12, kde následne funkcia *matrixDraw*, ktorej kód je zobrazený v Ukážke programu 1., rozhoduje, na ktorý z 12 uzemňovacích pinov pre stĺpec nastaví logickú 0 a tak umožní pretekánie prúdu cez diódu.

```

void matrixDraw(void)
{
    int c = 0;
    int r = 0;

    for (r = 0; r < MATRIX_ROW_MAX; r++) {
        digitalWrite(MATRIX_ROW[r], HIGH);

        for (c = 0; c < MATRIX_COL_MAX; c++) {
            digitalWrite(MATRIX_COL[c], pattern_FIN[r][c] ? LOW : HIGH);
            digitalWrite(MATRIX_COL[c], HIGH);
        }

        digitalWrite(MATRIX_ROW[r], LOW);
    }

    // oneskorenie kvoli zuzovaniu striedy
    delayMicroseconds(MATRIX_DRAW_CORRECTION[EEPROM.read(0)] );
}

```

### Ukážka programu 1. Funkcia matrixDraw zodpovedná za zmeny stavov na pinoch

Tvorba binárnej matice *pattern\_FIN* je výsledok logického súčtu medzi binárnou maticou *pattern*, ktorej vznik prebieha inicializáciou zvoleného módu a následným nastavením funkcie tlačidla inkrementácie (dekrementácie), ktoré mení jej binárne hodnoty a binárnou maticou *pattern\_BT*, ktorá je definovaná nadriadeným zariadením.

Aby sa predišlo falošnej detekcii stlačenia tlačidla je v programe definovaný čas *BUTTON\_DEBOUNCE* nastavený na 20 iterácii funkcie *matrixDraw*, čo predstavuje v základnom nastavení približne 23 ms a definuje ako dlho musí byť tlačidlo stlačené, aby došlo k vyhodnoteniu zmeny jeho stavu. Okrem toho je tiež definovaný čas *BUTTON\_LOCK* na 100 iterácii funkcie *matrixDraw*, čo predstavuje v základnom nastavení približne 114 ms a definuje aký dlhý čas po vyhodnotení stlačenia tlačidla, je systém neaktívny pre ďalšie stlačenie tlačidla. Takýmto spôsobom je softwarovo zabezpečené nechcené dvojité stlačenie tlačidla. Ďalším softwarovým zabezpečením snímania stavu tlačidla je ich interné zapojenie cez pull-up rezistor, ktorý bol zaimplementovaný hlavne kvôli dĺžke káblového rozhrania k nožnému pedálu. Strojový zápis zabezpečenia tlačidla je zobrazený v Ukážke programu 2.

```

for (r = 0; r < MATRIX_BUTTON_MAX; r++) {
    pinMode(BUTTON[r], INPUT_PULLUP);
}

int buttonIsPressed(uint8_t pin)
{
    if (digitalRead(pin) == 0) {
        buttonDebounce();

        if (digitalRead(pin) == 0)
            return 1;
    }

    return 0;
}

void buttonDebounce(void)
{
    int i;

    for (i = 0; i < BUTTON_DEBOUNCE; i++) {
        matrixDraw();
    }
}
/**
 * Oneskorenie snimania dalsieho stlacenia tlacidiel.
 */
void buttonLock(void)
{
    uint16_t i;

    for (i = 0; i < BUTTON_LOCK; i++) {
        matrixDraw();
    }
}

```

### Ukážka programu 2. Zabezpečenie snímania stavu tlačidiel

Pričom vo vektore *BUTTON* sú preddefinované čísla pinov pripojených k tlačidlám a slúžiacich k detekcii ich stavu.

Zo spomenutých hodnôt je možné vypočítať teoretickú odozvu systému na stlačenie tlačidla. V základom nastavení to je približne 24 ms, čo predstavuje čas potrebný na jedno vykreslenie matice a *BUTTON\_DEBOUNCE*. V nastavení s najslabšou intenzitou vyžarovania LED diód je súčet týchto časov približne 72 ms. Odozva systému teda spĺňa zadané podmienky.

#### 3.1.4 Bluetooth sériová komunikácia

Zadefinovaný textový komunikačný protokol pozostáva z piatich príkazov. Príkaz *LED\_ON:X Y* odosiela pokyn k rozsvieteniu diódy, pričom *X* predstavuje riadok a *Y* stĺpec matice, čo umožňuje priamo adresovať jednu LED diódu. Príkaz *LED\_OFF:X Y* je jeho antagonista. Tretí príkaz *INT:X*, mení intenzitu LED diód. Hodnota *X* predstavuje indexovú

hodnotu vopred preddefinovaného vektora ôsmich hodnôt, ktoré upravujú čas trvania funkcie *MatrixDraw*, pričom jeho hodnota sa ukladá do EEPROM pamäte čipu. Príkaz *RESET*, vynuluje všetky hodnoty v binárnej matici *Pattern\_BT* a tak docieli vypnutie všetkých LED diód budených z PC. Zoznam príkazov s rozsahmi očakávaných hodnôt na ich vstupe sú zobrazené v Tabuľke 3.

**Tabuľka 3.** Príkazy a ich očakávané vstupy

Príkaz	X	Y
LED_ON:	1-12	1-8
LED_OFF:	1-12	1-8
INT:	0-7	-
RESET	-	-

Nadriadený systém vždy čaká na prijatie potvrdenia o vykonaní príkazu od zariadenia vo forme správy „OK“. Tento proces trvá určitú dobu, preto bol zadefinovaný ešte jeden príkaz *DRAW*:, za ktorým nasleduje 96 binárnych hodnôt oddelených medzerami predstavujúce stavy zopnutia jednotlivých LED diód. Týmto príkazom sa výrazne zrýchlilo zapínanie viac LED diód naraz.

Keďže kódovanie jednotlivých znakov ASCII štandardu vyžaduje 8 dátových bitov, sériová komunikácia prebieha v asynchrónnom móde zvanom 8-n-1 s rýchlosťou 9600 bit/s. Kedy po štartovacom bite nasleduje 8 dátových bitov a jeden stop bit. Tento mód neobsahuje paritu. Jeho grafické znázornenie je na Obrázku 14 [18].



**Obrázok 14.** Grafické znázornenie zoradenia bitov v 8-n-1 štandarde [15]

Komunikácia v Matlabe prebieha zadefinovaním sériového portu, vytvorením reťazcu znakov, ktoré dokáže zariadenie identifikovať, jeho odoslaním a následným prijatím spätnej väzby. V Ukážke programu 3. je názorný kód na vytvorenie a odoslanie príkazu *DRAW*: pričom vektor *DONE* predstavuje binárne stavy zopnutia LED diód. Ak PC prijme potvrdzovaciu správu „OK“, tak je komunikácia považovaná za úspešnú a je ukončená. V opačnom prípade sa na obrazovke zobrazí varovné okno.

```

PORT=serialInfo.AvailableSerialPorts{1,1};
S = serial(PORT, 'BaudRate', 9600);
fopen(S);

DONE=num2str(B(1:96));
string=['DRAW:',DONE];

fwrite(S,string);
pause(1)
a=fscanf(S,'%c');
if strcmp('OK',a(1:2))
else
    warndlg('Communication error');
end
fclose(S);

```

### Ukážka programu 3. Ukážka riadenia sériovej komunikácie v Matlabe

Prijatie a spracovanie správy v zariadení prebieha prečítaním dát so sériového portu a následnou detekciou indexov pomocných znakov. Pozície pomocných znakov predstavujú záchytné body v orientovaní v príkaze počas celej doby spracovania prijatých dát. Sú nimi dvojbodka a medzera. Po určení pozície dvojbodky zariadenie prečíta príkaz a vstupuje do podmienkovej časti algoritmu, ktorý vykonáva funkčnú podstatu prijatých príkazov. Príkazy spracovania sú zobrazené v Ukážke programu 4. Okrem nich je v zariadení implementovaná vizuálna spätná väzba pomocou LED diódy, ktorá je zasvietená počas doby prebiehajúcej sériovej komunikácie.

```

if(Serial.available() > 0) // Checks whether data is coming from the serial port
{
    digitalWrite(INDICATION[0], HIGH);
    command = Serial.readString(); // Reads the data from the serial port
    command_mid_pos = command.indexOf(':'); // Possition of ':'
    command_num_pos = command.indexOf(' '); // Possition of ' '
    command_type=command.substring(0, command_mid_pos); // Reads command from serial

```

### Ukážka programu 4. Úvodná fáza kódu sériovej komunikácie

#### 3.1.5 Užívateľské rozhranie nadriadeného systému

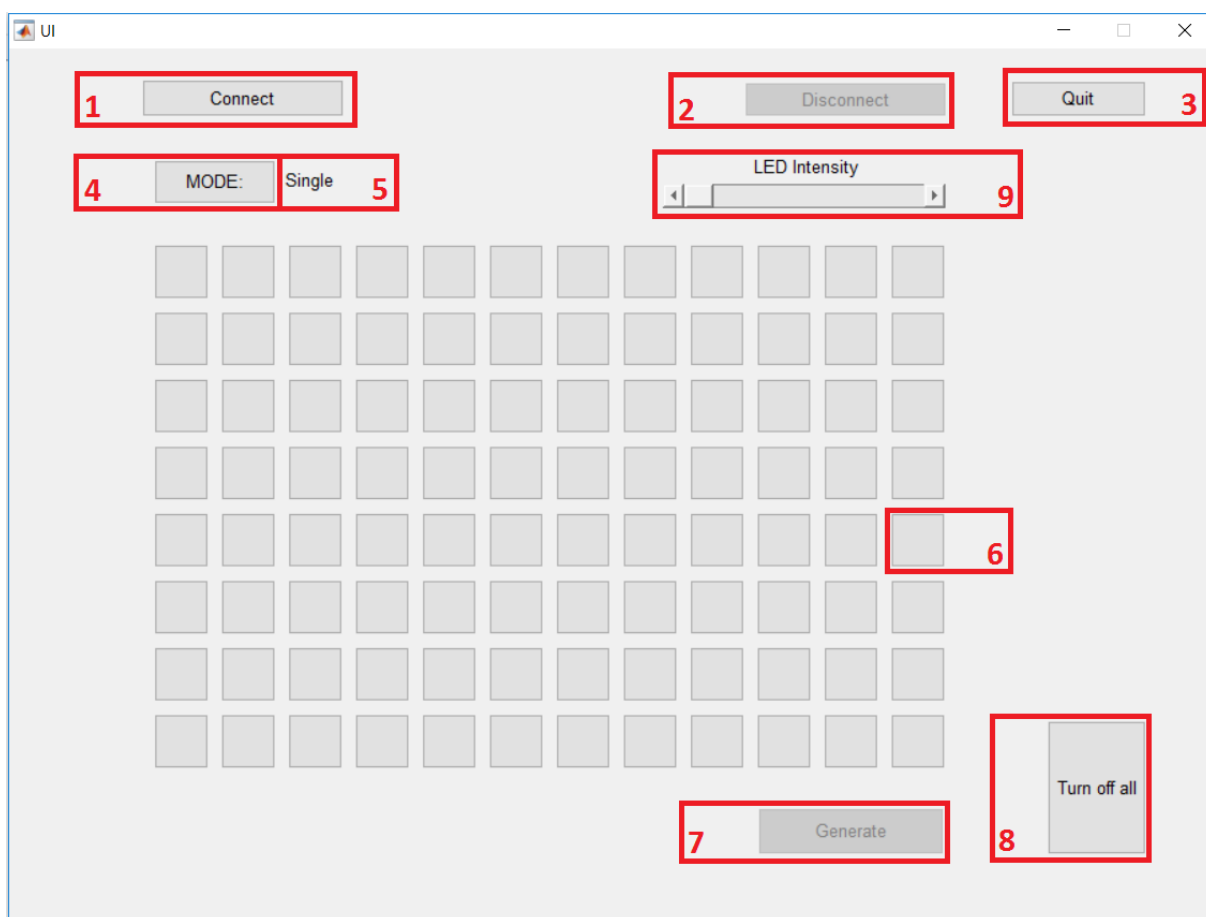
Užívateľské rozhranie UI, bolo naprogramované v programe Matlab 2014b. Jeho účelom je zjednodušiť užívateľom komunikáciu medzi počítačom a navrhnutým zariadením.

Obrázok 15. predstavuje výsledné UI schopné komunikácie so zariadením. Jeho ovládanie začína pripojením zariadenia pomocou sériového portu, kliknutím na tlačidlo 1. Ak počítač aktuálne disponuje viacerými sériovými spojeniami, vyskočí dialógové okno s možnosťou výberu jedného. Na zrušenie komunikácie slúži tlačidlo 2. Tlačidlo 3 zavrie celé okno UI.

Iniciácia zopnutia diód môže prebiehať v dvoch režimoch, ktoré je možno prepínať tlačidlom 4. Vedľa neho sa zobrazuje aktuálny zvolený mód (5). Režim „Single“ reaguje na každé stlačenie tlačidiel 6, ktoré rozložením imitujú LED diódy zariadenia, zvlášť a teda

umožňuje priame rozsvietenie jednotlivých diód. Režim „All“ pošle príkaz pre rozsvietenie diód až po stlačení tlačidla 7, čo urýchľuje zapínanie viacerých diód naraz.

Tlačidlo 8 slúži na vypnutie všetkých diód, ktoré boli zapnuté pomocou UI a posuvný panel 9 vysiela príkaz na zmenu intenzity žiarenia. Zvolená intenzita žiarenia LED diód ostáva v pamäti zariadenia aj po jeho vypnutí.

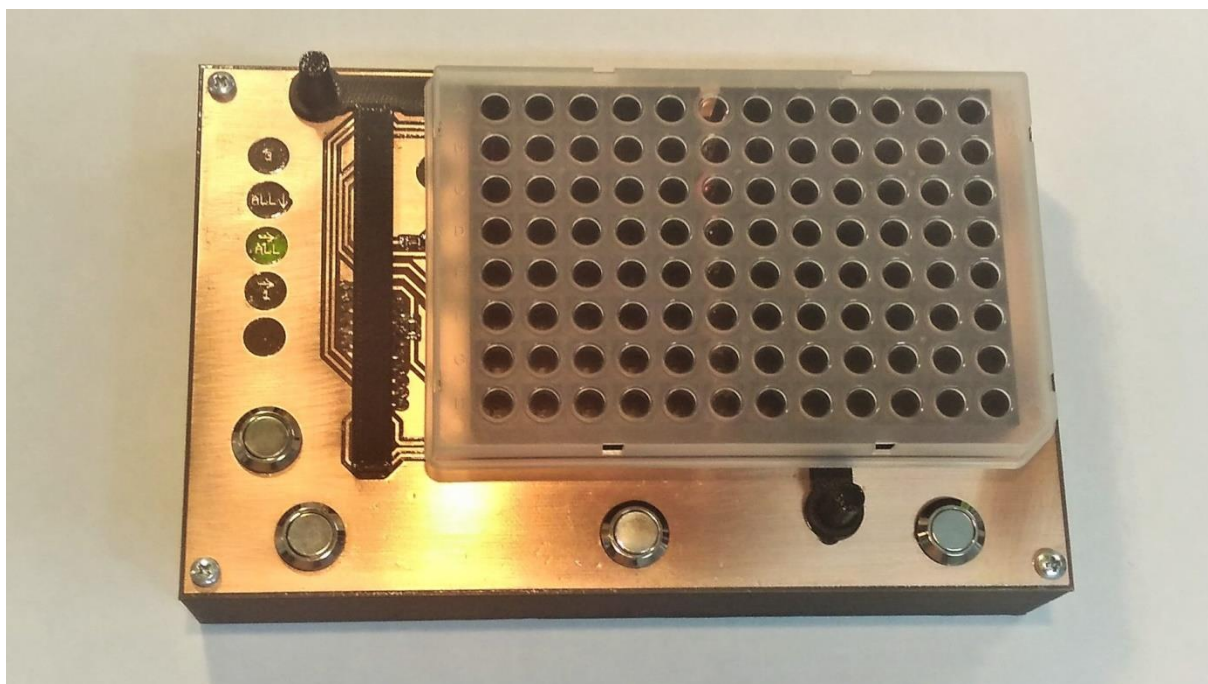


**Obrázok 15.** Uživatelské rozhranie pre komunikáciu sa zariadením

### 3.2 Vyhotovenie zariadenia

Návrh každej časti vychádza z funkčnej podstaty účelu zariadenia. Rozloženie jednotlivých prvkov je v prvom rade prispôsobené na typizované rozmery mikroskúmvkových dosiek, ale rovnako je kladený dôraz na ergonómiu a štrukturálnu stabilitu zariadenia. Dôležitou súčasťou návrhu bolo zamedzenie kontaktu častí pod prúdom s vlhkosťou a s nechceným kontaktom. To je vyriešené vrstvami laku a vlastným konštrukčným riešením celého zariadenia.

Z praktického užívateľského hľadiska je dôležité prispôsobenie zariadenie častému čisteniu, čo sa dosiahlo hladkým povrchom a minimalizáciou hrán, v ktorých by mohlo dochádzať ku hromadeniu kontaminovaného materiálu. Zariadenie je rovnako mobilné, čo bolo umožnené zabudovaním 9 V akumulátora. Na Obrázku 16. Je fotografia výsledného zariadenia s osadeným stojanom a mikroskúmvkovou doskou.



**Obrázok 16.** Fotografia vyhotoveného zariadenia

# Záver

Táto bakalárska práca sa zaoberala problematikou indikácie naplnených mikroskúmviek v mikroskúmvkových doskách so zámerom uľahčenia práce laboratórnym pracovníkom. Práca problém popísala a vypracovala jedno z jeho možných riešení.

Práca bola rozdelená do dvoch častí. V prvej, teoretickej časti, došlo k oboznámeniu sa s problematikou a zhrnutím poznatkov potrebných k zhotoveniu zariadenia, ktorým sa ďalej zaoberala, druhá, praktická časť práce.

V praktickej časti došlo k zvoleniu spôsobu indikácie pomocou LED matice 96 diód riadených mikroprocesorom zaimplementovaným v platforme Arduino/Genuino. Teda rovnako došlo k oboznámeniu sa s problematikou softwaru Eagle a Arduino IDE. Vytvorené zariadenie je ďalej schopné komunikovať pomocou zadefinovaného textového komunikačného protokolu prostredníctvom BT sériovej linky s nadriadeným systémom predstavujúci aplikáciu naprogramovanú v programe Matlab.

Výroba zariadenia zahrňovala návrh, výrobu a osadenie DPS, takisto plastových častí ako aj samotnú montáž. Zariadenie spĺňa zadanú podmienku univerzality a pri jeho návrhu a zhotovovaní sa kládol dôraz na jeho nízku cenu. Výrobné náklady sa pohybujú okolo 1300 Kč pokiaľ uvažujeme výrobu iba jedného kusu. Pri hromadnej výrobe s využitím zahraničných dodávateľov je možné túto cenu znížiť hlboko pod 1000 Kč. Takáto čiastka spĺňa zadanie práce a je niekoľkonásobne nižšia ako najbližšia komerčná konkurencia.

Zariadenie je funkčne úplne pripravené splniť svoj prvotný účel a to zjednodušiť prácu laboratórnym pracovníkom a priniesť tiež z toho vyplývajúce šetrenie nákladov celému vedeckému zariadeniu.

Používaním tohto zariadenia nebude dochádzať k žiadnej alebo len minimálnej expozícii fotoaktívnych látok žiareniu LED diód využitím správnej vlnovej dĺžky žiarenia a tiež minimalizácii expozičného času. Pri správnom používaní zariadenia nehrozí zvýšené riziko kontaminácie pracoviska a obnovovacia frekvencia LED diód ako aj odozva systému sú dostatočne rýchle na to aby spôsobovali únavu či spomaľovali užívateľa.

Práca teda splnila všetky zadané podmienky a je teda možné ju využiť v praxi. Avšak, mikroštruktúra plastu ABS vzniknutá 3D tlačou je vhodnejšia do sterilných podmienok, preto by bolo v budúcnosti vhodnejšie použiť tento materiál.



## Referencie

- [1] Architektura AVR v kostce [online]. 2000 [vid. 19.11.2016]. Dostupné z: [http://avr.hw.cz/architektura/arch\\_avr.html](http://avr.hw.cz/architektura/arch_avr.html)
- [2] ATmega 16U2. © 2016 Atmel Corporation [online]. [vid. 27.12.2016]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc7799.pdf>
- [3] Brent A. Miller, Chatshik Bisdikian, Bluetooth revealed: the insider's guide to an open specification for global wireless communication, Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA ©2001. ISBN 0-13-090294-2.
- [4] Corning<sup>TM</sup>. In: Fishersci [online]. [vid.13.11.2016]. Dostupné z: <https://beta-static.fishersci.com/images/F18749~wl.jpg>
- [5] Doska PCR Mikroskúmviek, PP. In: Helago® [online]. ©2016 HELAGO-SK s.r.o [vid.7.3.2016]. Dostupné z: [http://www.helago-sk.sk/files/thumbs/mod\\_eshop/produkty/full/4675.1033825454.jpg](http://www.helago-sk.sk/files/thumbs/mod_eshop/produkty/full/4675.1033825454.jpg)
- [6] Giordano, R.A.; Wu, B.M.; Borland, S.W.; Cima, L.G.; Sachs, E.M.; Cima, M.J. (1997). "Mechanical properties of dense polylactic acid structures fabricated by three dimensional printing". *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*. 8 (1): 63–75. [doi:10.1163/156856297x00588](https://doi.org/10.1163/156856297x00588).
- [7] GM Electronic. LED 0805 RED 150/120° OSR50805C1E [online]. [vid. 2.12.2016]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.960-342.2.pdf>
- [8] LÁNÍČEK, Robert. Elektronika, obvody, součástky, děje. BEN – Technická literatura, 2002. ISBN 80-86056-25-2
- [9] Martin D. Seyer, RS-232 made easy: connecting computers, printers, terminals, and modems, Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA ©1984, ISBN 0-13-783472-1
- [10] MATOUŠEK, David. Práce s mikrokontroléry Atmel AVR. BEN – Technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-209-4
- [11] Pipette Guide 96. BFrontier [online]. [vid.14.11.2016]. Dostupné z: <https://itunes.apple.com/us/app/pipette-guide-96/id548236701?mt=8>
- [12] PLA MSDS. American Polymer Standards Corporation [online]. [vid. 16.5.2017]. Dostupné z: <http://web.archive.org/web/20090106174052/http://www.ampolymer.com/MSDS/PLA.pdf>
- [13] PLATR SMART PIPETTING. Biosistematika® [online]. [vid.14.11.2016]. Dostupné z: <http://biosistematika.com/platr/>

- [14] R. Nasiri, J. Wang, A. Rehman, S. Wang and Z. Wang, „Perceptual quality assessment of high frame rate video,“ in Proc. IEEE, 2015 17th Int. Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP), ISBN 978-1-4673-7478-1
- [15] Serial Communication, SparkFun Electronics ® [online]. [vid.15.5.2017] Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/rules-of-serial>
- [16] TOptical Excitation by Led technology. In: Biometra [online]. ©2014-2016 Biometra GmbH [vid.13.11.2016]. Dostupné z: [http://www.biometra.de/files/themes/biometra\\_standard/bilder/toptical\\_anregung.jpg](http://www.biometra.de/files/themes/biometra_standard/bilder/toptical_anregung.jpg)
- [17] TRACKMAN™. GILSON® [online]. [vid.14.11.2016]. Dostupné z: <http://www.gilson.com/en/Pipette/Products/45.265/Default.aspx#.Vt2lx7x3A2s>
- [18] What does 8-N-1 mean? [online]. [vid.15.5.2017]. Dostupné z: <http://www.modemhelp.net/faqs/8n1.shtml>
- [19] Zbyšek Voda & tým HW Kitchen. PRŮVODCE SVĚTEM ARDUINA. Bučovice: Nakladatelství Martin Stříž, 2015. ISBN 978-1-4200-8201-2.

## **Zoznam príloh**

Príloha A: Schéma zapojenia

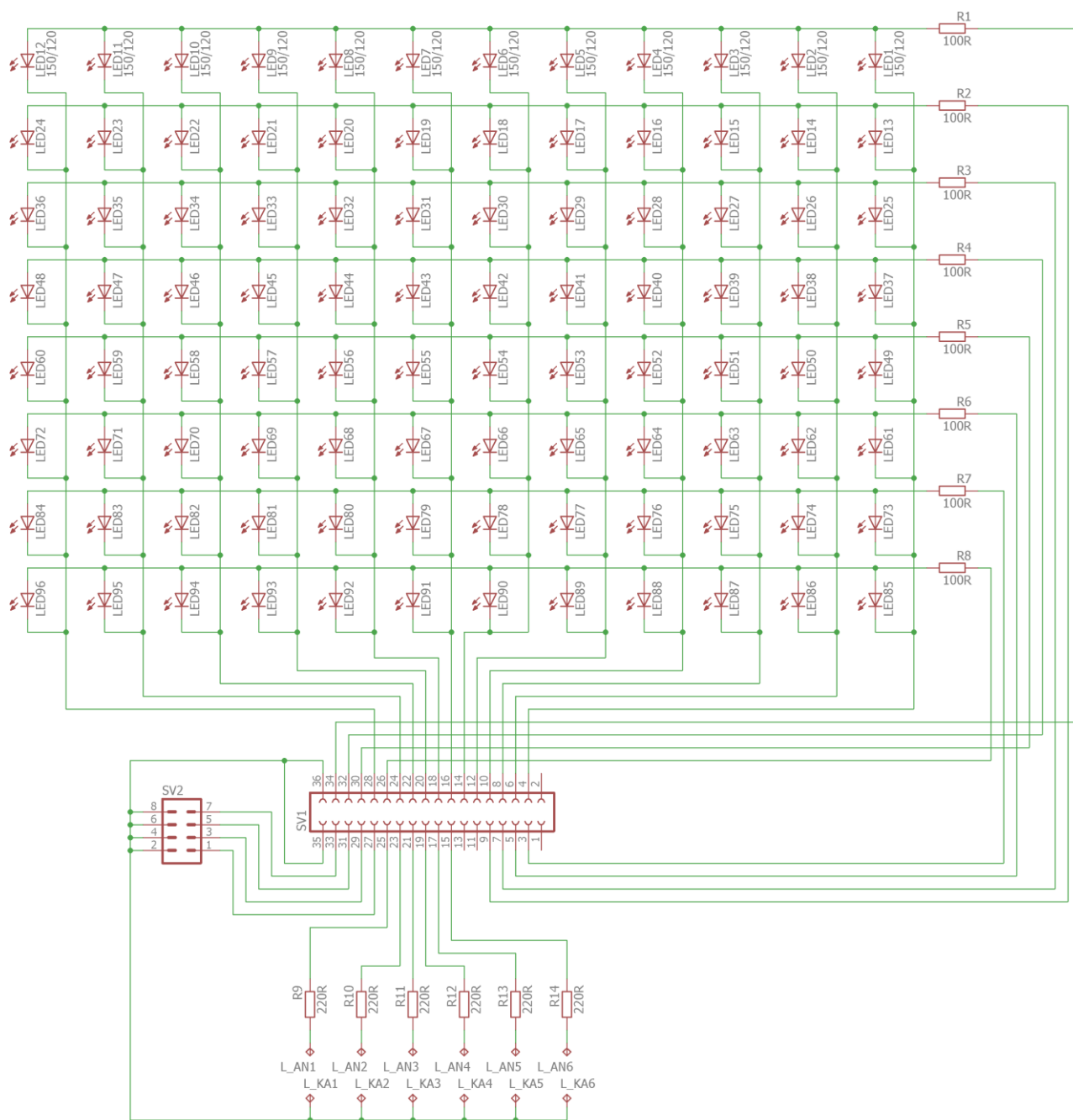
Príloha B: Navrhnuté stojany

Príloha C: Navrhnutý obal zariadenia

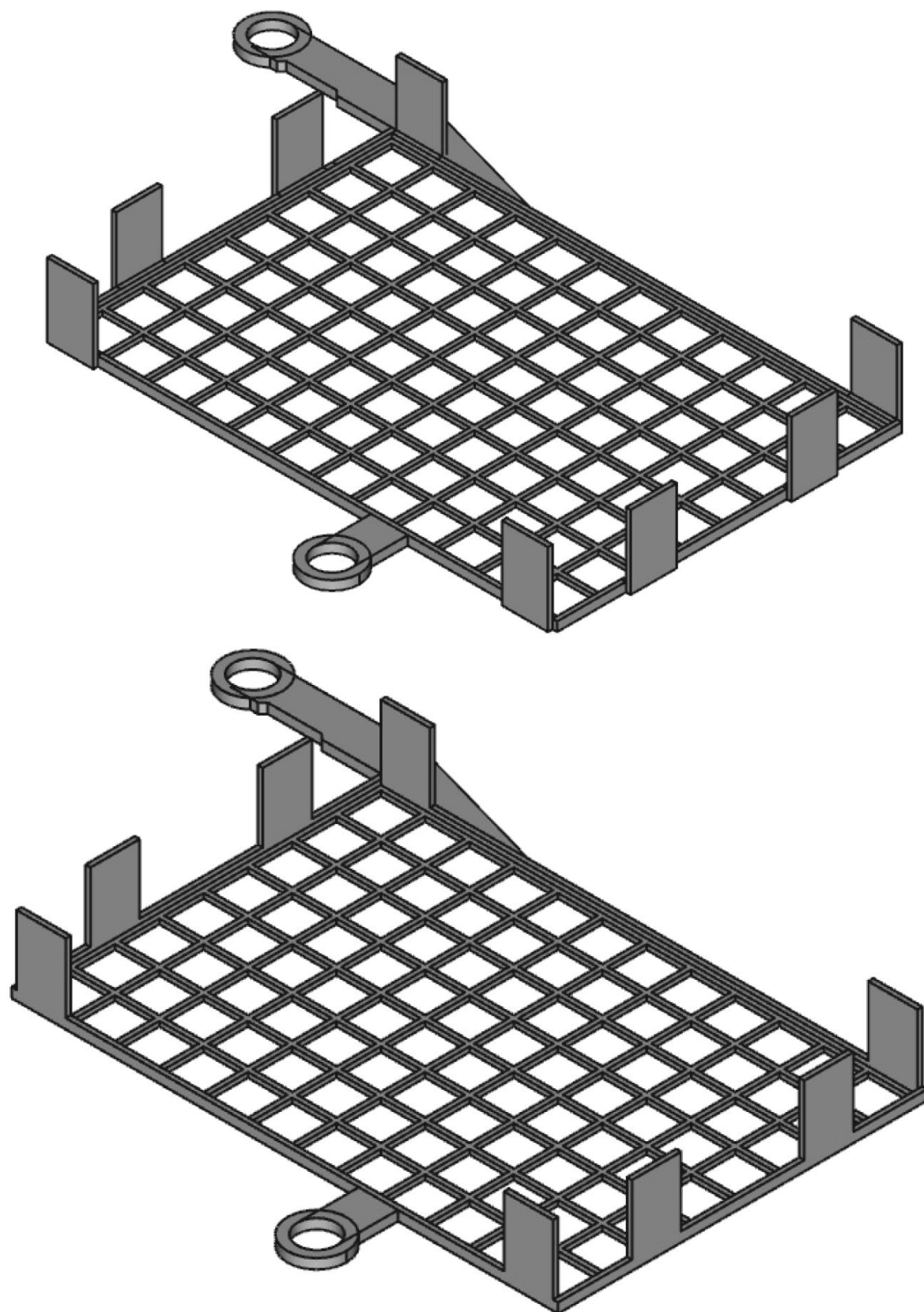
Príloha D: Fotografia výsledného zariadenia

Príloha E: Obsah CD

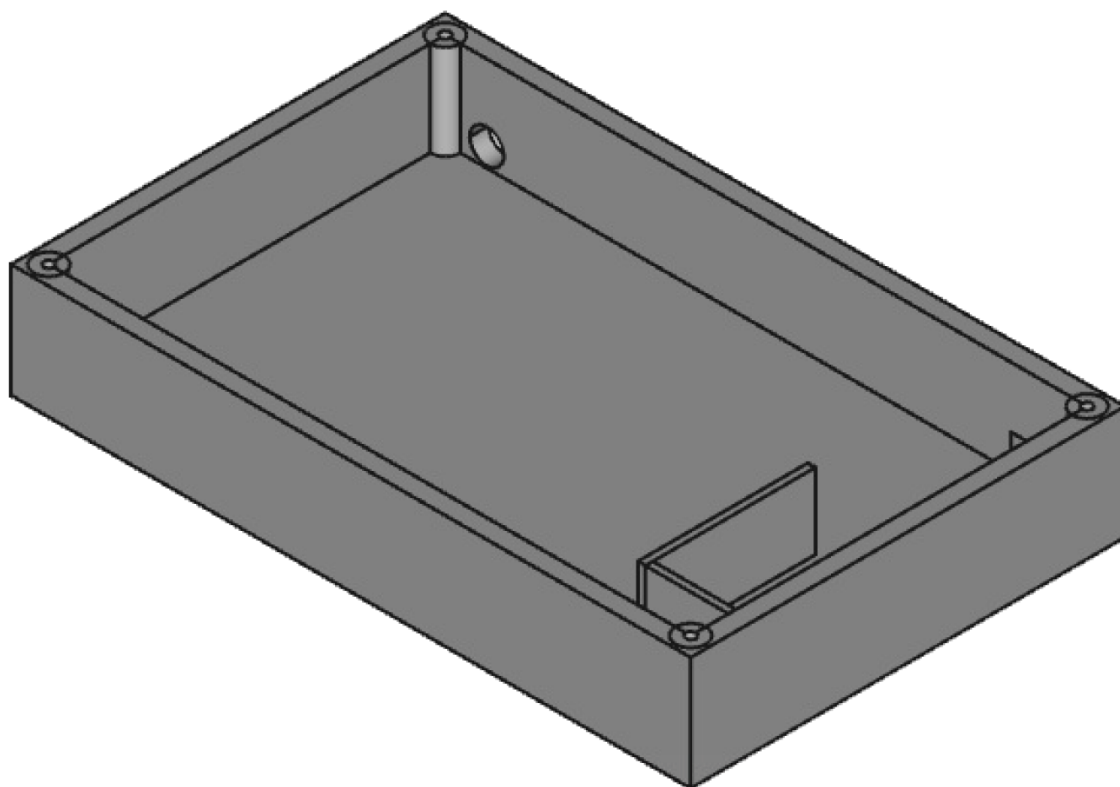
## A Schéma zapojenia



## B Navrhnuté stojany



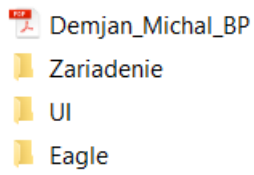
### C Navrhnutý obal zariadenia



## D Zoznam použitých súčiastok

Názov súčiastky	Počet kusov
Arduino MEGA	1
LED 0805 RED 150/120°	96
SMD Rezistor R1206 110R 1% YAGEO	8
LED 3MM GREEN 12,6/60°	5
SMD Rezistor R1206 220R 1% YAGEO	5
Antivandal spínač HBGQ12F-10/N	4
Obojstranný kolík S2G08 2,54mm	1
Obojstranný kolík S2G36 2,54mm	1
Konektor PFL10	1
Akumulátor 9V	1
Kolískový spínač P-SM101-1B3	1
Napájací konektor K36721B	1
Napájací konektor DCI SCP-2009C	1
Modul bluetooth HC-05	1

## E Obsah CD



Súbor: *Demjan\_Michal\_BP.pdf* obsahuje bakalársku prácu.

Zložka *Zariadenie* obsahuje zdrojový kód nahraný na AVR mikrokontrolér od firmy Atmel.

Zložka *UI* obsahuje aplikáciu užívateľského rozhrania.

Zložka *Eagle* obsahuje elektrickú schému a navrhnutú dosku zariadenia.